土壤與環境，民國九十八年十二月，第十二卷，第一期、第二期，第 33 頁至第 40 頁
Soil and Environ., December 2009, Vol. 12, No. 1 & No. 2, p 33-p 40.

土壤肥力診斷在水稻精準施肥管理之應用

Application and Diagnosis Technique of Soil Fertility in Precision Fertilization of Rice

王鐘和[1*]　　江志峰[2]
Chung-Ho Wang[1*]　Chih-Feng Chiang[2]

摘　要

本研究依據現行水田土壤磷、鉀肥力診斷推薦施肥基準，設置氮、磷、鉀肥不同用量處理，並設置氮肥高量及磷鉀肥足量施用之農家慣用量區爲對照，探討不同肥料用量處理水稻各生育時期、階段之乾物累積及要素吸收量之變化及產量之差異。結果顯示：應用現行水田土壤磷鉀肥力診斷基準，推薦磷鉀肥用量之各處理間植株乾物重、產量及磷鉀吸收量均無顯著差異，顯示該基準具實用性。稻穀產量與幼穗形成期植株氮含量間呈極顯著正相關。而本試驗水稻生育期間之氣候條件有利於水稻生長及乾物生產，因生長量增加故對營養元素的需求也增加，故多施氮肥具明顯增產效果。

關鍵詞：水稻、土壤肥力診斷、精準施肥。

ABSTRACT

The effect of different rate of N, P and K fertilizers on the growth of rice plant at different stages were studied. The conventional farms' rate was used as check and P and K application rates were according to the current paddy soil diagnosis standard. The result indicated the total dry matter yield of rice plant, grain yield and P and K uptake were no significantly different among all the treatment. Grain yield was significantly positive correlated with N content of rice plant at panicle initiation stage. Owing to the climate condition during this experiment being favorable to the rice plant growth, higher nutrient demand was observed for the higher dry matter production. Thus, the yield of high N supplied treatment (CK) were higher than others treatment.

Key words : Rice, Soil fertility diagnosis, Precision fertilization.

前　言

水稻爲台灣栽培面積最多的作物，合理之肥培管理除了其經濟意義外，積極的更有維護生態環境之意義。水稻的生育

[1] 國立屏東科技大學農園生產系。Department of Plant Industry, National Pintung University of science and Fechroology.
[2] 行政院農業委員會農業試驗所農業化學組。Division of Agricultural Chemistry, Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.
* 通訊作者。Corresponding author. chwang@mail.npust.edu.tw

受品種、氣候環境、栽培方法及土壤肥力等因素影響，台灣以往亦累積相關之試驗結果釐訂稻田之氮肥、磷肥及鉀肥推薦用量，使水稻之施肥推薦邁向科學化。在複作制度下，由於不同作物之施肥情況截然不同，上作施肥所殘留肥分和作物殘體對次作物之養分吸收將有莫大影響(Hayami, 1975)，種植前土壤養分之測定及作物需肥性之診斷益加重要。水稻對三要素之反應以氮最爲敏感，氮缺乏則發育不良，產量不高，但施用過量，或施用時期不當，易因生長過旺導致罹患病蟲害或引起倒伏而減產。張和洪(1979)指出以含有穩定低濃度氮之大容量養液栽培水稻，已能使水稻生長良好。但就各生育階段所吸收氮對稻穀生產之效率而言，則以分蘗盛期及幼穗形成期爲最大。分蘗盛期及幼穗形成期氮充足與否，影響穗數、稔實率及千粒重，因此；欲穫高產，必需在這兩個時期充分供應氮肥(連，1982；王，2004)。

對大多數禾本科作物而言，產量構成要素之組成相似，各要素間具有互補性(Dofing & Knight, 1994)，經由產量構成要素之調查，可進一步瞭解稻穀生產之豐歉程度。每個產量構成要素在植株全生育期中有其決定之特定時期。在現行水稻栽培採移植固定株數之制度下，單位面積之穗數取決於分蘗數，分蘗數主要決定於分蘗盛期，有效分蘗數增加可促進稻穀產量的增加;水稻穎花爲乾物質積儲之場所，穎花數多寡爲產量收穫之基礎，每穗穎花數決定於生殖生長期時(尤其在枝梗和穎花分化時)，單位面積穎花數會受到栽培方式、生長特性及氣候條件等因子的影響;稔實穀粒數爲產量高低之決定因子，稔實率由抽穗前後環境所決定，高氮肥施用、溫度太高或太低及低日射量皆會導致不稔實率(sterility percentage)增加;穀粒之碳水化合物受稻穀(穎花)所包覆，因穀粒大小較爲固定，故千粒重爲一穩定且變異程度較小之水稻品種特性(張和曾，1982)。收穫指數(harvest index)爲另一影響產量之性狀，不論水稻、小麥或玉米等作物，其收穫指數皆因品種不同而有差異。收穫指數是品種特性之一(朱，1975)，但也會受到環境因子(土壤肥力、栽植密度、水分、氣候條件及生長季節)的影響。

水稻的肥料需要量受到品種、栽培技術、環境(含氣候環境及土壤環境)，我國現行水稻施肥技術，係考量品種特性及氣候環境等因素，配合土壤養分速測値，求得施肥效應與土壤有效磷、鉀含量之相關，爲磷、鉀需要量推薦之依據(連，1982；王，2004)。根據前人累積之試驗結果，乃有三要素用量標準(Su，1972、1975)；其中氮係以品種別、期作別和土類別推薦，而磷鉀則依據土壤有效磷、鉀之測値推薦。此等標準並經前農林廳肥料技術小組定期修訂，編印施肥手冊(作物施肥手冊，1996)提供推廣人員及農友應用。本試驗依循該手冊規定進行土壤肥力診斷，並據以設置各種肥料用量試區，另參考農家慣常氮肥施用量設置氮、磷、鉀肥高量施用區作爲對照，以驗證及探討應用現行水稻栽培之土壤肥力診斷推薦施肥基準對水稻台農67號生育及稻穀生產之效應。

材料與方法

一、試驗地點

農業試驗所81和83號田區，屬砂頁岩非石灰性新沖積土，七塊厝系，各田區之半區(25 × 100 m)劃分爲12.5 × 12.5 m之16

塊小試區，供土壤肥力診斷推薦磷、鉀肥用量，另半區(25 × 100 m)則分爲4塊25 × 25 m，爲農家傳統施肥區，各試小區之土壤肥力狀態與性質，如表一，兩塊田面積合計一公頃。

二、試驗作物

水稻(*Oryza sativa* L.)台農67號。

三、試驗方法

本試驗各將兩塊田四個不等量氮肥區自東西向劃分成兩半，一半爲對照區(CK)其施肥量爲農民慣施量 N：P_2O_5：K_2O爲210：70：70 kg/ha的施用水準量，另一半則再劃分成16小區，每一小區面積156 m^2。肥料施用量，因兩試區之土壤有機質含量均不高，採現行一期作水稻之推薦量130 kg/ha，磷與鉀則依其磷、鉀肥力測值，參照「作物施肥手冊」中之推薦量，磷肥分別區分15、30、50 kg/ha三等級(如表二)，分別以P_{15}、P_{30}、P_{50}表示，鉀肥則區分爲15、40 kg/ha 二等級(如表三)，分別以K_{15}、K_{40}表示。除磷肥全量當基肥，氮肥採基肥25%，第一次追肥20%，第二次追肥(穗肥) 30%，第三次追肥 25%量施用。鉀肥採基肥40%，第一次追肥20%，第二次追肥(穗肥) 40%量施用。

表一、供試土壤性質(2003；第一期作)
Table 1. Some selected chemical properties of the studied soil (2003 1^{st} crop)

	pH (1：1)	$EC_{1:1}$ [x] (dS m^{-1})	OM [y] (g kg^{-1})	Bray 1 P [z] (mg kg^{-1})	Exch. K* (mg kg^{-1})	Exch.Ca* (mg kg^{-1})	Exch. Mg* (mg kg^{-1})
Min	4.9	0.055	8.5	6.87	34.0	576	83.5
	~	~	~	~	~	~	~
Max	6.3	0.16	14.7	41.2	86.5	1218	139

x : electrical conductivity of 1 : 1 soil/water mixture. y : organic matter
z : available P * : exchangeable K, Ca, Mg

表二、依據土壤磷肥力診斷之推薦磷肥用量(2003；第一期作)
Table 2. Recommendation rate of P_2O_5 in the experiment according to the soil P fertility diagnosis (2003 1^{st} crop)

Bray -1P mg kg^{-1}		5.1~12.0	12.1~30.0	> 30.0
	Relative level	Medium	High	Very high
Recommended P_2O_5 (kg ha^{-1})		50	30	15

表三、依據土壤鉀肥力診斷之推薦鉀肥用量(2003；第一期作)
Table 3. Recommendation rate of K_2O in the experiment according to the soil K fertility diagnosis (2003 1^{st} crop)

Ammonium Acetate (pH 7) extractable K, mg kg^{-1}		31~50	> 50
	Relative level	Medium	High
Recommended K_2O (kg ha^{-1})		40	15

四、試驗時間

2003年水稻第一期作。

五、調查及分析項目

(一)調查分蘗盛期(30days after transplanting, DAT)、幼穗形成期(60 DAT)、抽穗期(80 DAT)、成熟期(120 DAT)之植體地上部乾物重及氮、磷、鉀要素含量。

(二)收穫期之植體每叢穗數(panicle number per hill)、百粒重(hundred grain weight)、穗粒數(grain number per panicle)及其他農藝性狀。

結果與討論

一、不同肥料處理對稻穀產量及收量構成因素的影響

各處理區水稻稻穀產量及收量構成要素的資料列於表四。每叢穗數以高量肥料$N_{210}P_{70}K_{70}$ (CK)處理之19.1穗為最高，較其他依現行水稻肥料推薦量施肥之各處理區平均之17.0增加約12%。顯示肥料用量增加可促進植株分蘗，增加每叢穗數。前人報告也指出；水稻生育明顯受到肥料用量之影響，尤其是氮肥。其施用量與穗數成正比(張及楊，1965；連，1996；王等，2002a)，該處理稻穀產量也高於其他推薦量處理區之平均約18%。推薦施肥處理中每穗粒數以$N_{130}P_{15}K_{15}$處理最低，平均每穗86粒，但其產量與$N_{130}P_{30}K_{15}$、$N_{130}P_{50}K_{15}$兩處理間均無顯著差異。而$N_{130}P_{15}K_{40}$與$N_{130}P_{30}K_{40}$和$N_{130}P_{50}K_{40}$三處理間也無顯著差異。不同用量鉀肥處理中，$N_{130}P_{30}K_{15}$處理與$N_{130}P_{30}K_{40}$處理間以及$N_{130}P_{50}K_{15}$與$N_{130}P_{50}K_{40}$間無顯著差異。由此結果可知；依循現行水田土壤診斷基準而推薦不同磷、鉀肥的用量，各處理間稻穀的產量無顯著差異。

$N_{210}P_{70}K_{70}$ (CK)處理之稻穀產量明顯較高，應與其氮肥用量較高有關，而非較高磷鉀肥的影響。由於2003年一期作水稻生

表四、不同施肥處理對稻穀產量及產量構成因子之影響
Table 4. Effect of different fertilizer treatments on the yield and yield determining components of rice

Treatment	Panicle number per hill	Grain number per panicle	Hundred grain weight (g)	Grain yields (kg ha^{-1})	Harvest index (%)
$N_{130}P_{15}K_{15}$	16.3	86	2.31	6026a^{w}	48.2
$N_{130}P_{15}K_{40}$	16.7	107	2.30	6819a	47.4
$N_{130}P_{30}K_{15}$ (11^{x})	16.8^{y}(1.6^{z})	104(10)	2.39(0.12)	6124(605)a	49.6(1.3)
$N_{130}P_{30}K_{40}$ (13)	16.9(1.8)	106(13)	2.41(0.05)	6353(492)a	49.4(2.0)
$N_{130}P_{50}K_{15}$ (2)	17.8(0.2)	100(4)	2.30(0.04)	5906(674)a	49.3(2.5)
$N_{130}P_{50}K_{40}$ (4)	16.9(1.4)	104(9)	2.40(0.04)	6288(958)a	51.4(0.7)
CK(4)	19.1(0.9)	101(9)	2.26(0.12)	7616(535)	48.3(1.8)

x : number of replicate ; y : average of replicate ; z : standard deviation of replicate
w : with the same letter are not significantly different at 5% level by Duncan's Multiple Range Test

育期間的氣候條件與過去十年(1993~2002)的平均值比較，降雨日數減少7.5天，水稻幼穗形成期以後下雨日數明顯較往年少，僅為16.0天，而過去十年的平均值則為23.2天，故本期作天候狀況較佳，有利穀粒生產(表五)。所以雖然高量氮(210 kg/ha)施用區之水稻植株生長茂盛，甚至稻株相互擁擠，但在良好的氣候條件下，並未有如倒伏及病蟲害明顯滋生的現象產生，故有較高產量(連，1982；王，1985；連，1996；王等，2002b)。

二、不同生育時期的乾物產量及氮磷鉀要素吸收量之比較

不同肥料處理間水稻各生育時期之乾物質產量如表六所示。分蘗盛期(30 DAT)時各處理間乾物質產量並無顯著差異，此乃因分蘗盛期時各處理區植株生長之乾物量甚少，僅約為收穫時之2%左右。因此，對營養元素之需求較低，來自土壤中營養元素及所施的肥料所供應之營養元素的量，均足以滿足水稻生長所需之故。幼穗形成期時(60 DAT)，水稻生長量已明顯增多，根系發達且分佈廣(Broadbent and Mikkelsen, 1968)，對養分的需求量較前期高，分蘗數顯著增加，水稻葉面積增大以提高光合作用速率，植體總乾物重比分蘗盛期增14至23倍，而磷鉀肥用量較少之$P_{15}K_{15}$處理收穫期植株乾物質量則明顯較其他處理低，其他各處理間則無顯著差異(表

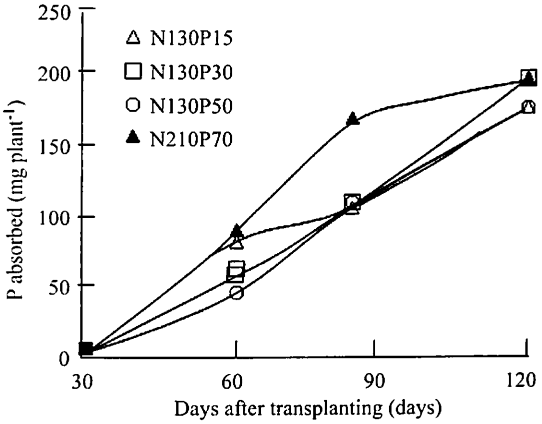
表五、本試驗水稻生育期間與之前十年期間之降雨量
Table 5. Rainy days during the study season and average of past 10 years

Days after transplanting, DAT	2003	1993-2002
1-120	35	42.5
1-30	9	8.3
30-60	10	11
60-84	6	8
84-120	10	15.2

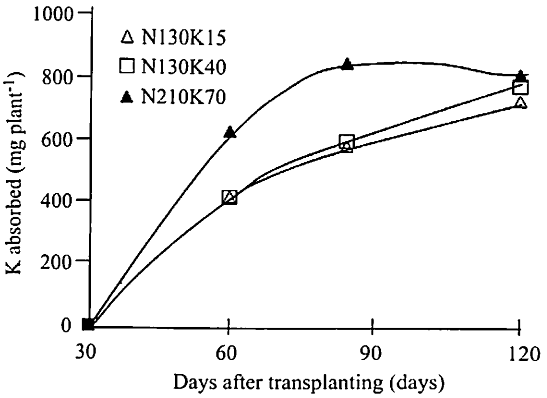
表六、不同施肥處理對不同生育時期水稻乾物量之影響
Table 6. Effect of different fertilizer treatments on the dry matter yield of rice plant at various growth stages (g plant^{-1})

Treatment	30 DAT*	60 DAT	84 DAT	120 DAT
$N_{130}P_{15}K_{15}$	1.47^y	23.3	39.8	66.9
$N_{130}P_{15}K_{40}$	1.36	32.0	48.4	86.4
$N_{130}P_{30}K_{15}$ (11^x)	1.26(0.32^z)	20.0(2.8)	43.1(2.1)	85.3(2.6)
$N_{130}P_{30}K_{40}$ (13)	1.24(0.21)	19.1(3.0)	45.1(2.1)	87.7(2.7)
$N_{130}P_{50}K_{15}$ (2)	1.19(0.72)	16.3(1.0)	45.1(5.6)	83.2(1.1)
$N_{130}P_{50}K_{40}$ (4)	0.99(0.44)	20.5(3.1)	43.7(5.7)	82.4(2.1)
CK(4)	1.35(0.46)	29.1(0.9)	62.3(4.2)	88.6(2.4)

x : number of replicate ; y : average of replicate ; z : standard deviation of replicate
* : DAT, days after transplanting



圖一、不同磷肥用量對各生育期植株磷吸收量之影響(2003，第一期作)
Fig. 1. Effects of different P rates on the P accumulation in rice plant at various growth stages (2003 1st crop).



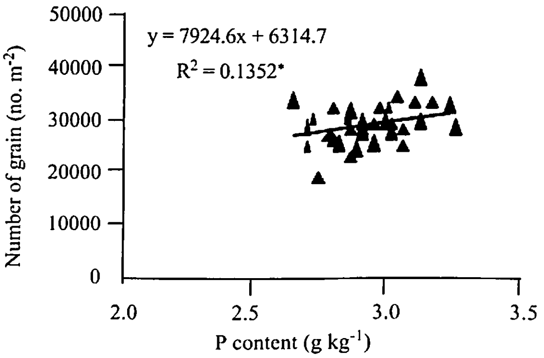
圖二、不同磷肥用量對各生育期植株鉀吸收量之影響(2003，第一期作)
Fig. 2. Effects of different K rates on the K accumulation in rice plant at various growth stages (2003 1st crop).

六)。

圖一也顯示較低磷肥用量區(P_{15})之水稻，雖然在幼穗形成期至抽穗期之期間磷的吸收量低於其他處理，但至收穫期則與其他處理間無顯著差異。而高量肥料處理(CK)，則因在抽穗期已吸收大量磷，故在抽穗期之後之吸收量也明顯較少。值得注意的是收穫時多施磷肥的CK處理與其他各處理間並無顯著差異。圖二顯示，雖然在分櫱盛期及幼穗形成期CK處理之鉀吸收量，明顯高於其他診斷推薦施肥處理，但收穫期各鉀肥用量處理之鉀吸收量間並無差異，而CK處理在抽穗期植株已吸收高量的鉀，抽穗期以後之鉀吸收量也呈負成長的情形。會呈現負增加現象，主要因爲鉀在植體中係以鉀離子的型態存在，能因雨水的淋洗而流失，因而導致植體中的總鉀量在成熟期時比抽穗期少。

三、植株要素濃度與稻穀生產之關係

圖三顯示水稻幼穗形成期植株之磷

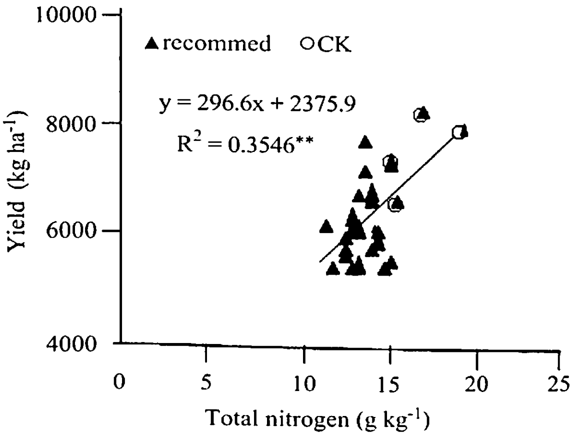


圖三、水稻幼穗形成期植株磷含量與單位面積粒數之相關(2003，第一期作)
Fig. 3. Relationship between grain number per unit area and P content of rice plant at panicle initiation stage (2003 1st crop).

濃度與單位面積的穀粒數呈顯著正相關。盛等人(1964)之研究顯示，於桃園紅壤水稻試區，於水稻齊穗期植株磷含量在3.0 g kg^{-1}以下者，尙有增施磷肥而增產的空間。由於磷與細胞多項重要生理功能，如能量代謝等有關，於作物生殖器官在生長分化時尤爲重要(王，1985; Mengel and Kirkby,

1982)。而本研究之推薦施肥區之水稻植株在幼穗形成期之磷含量部份低於3 g kg^{-1}。由於此時期以後，為穗部分化的重要時期，顯示在穎花分化生長時，扮演細胞重要功能之磷素如果缺乏，對稻穀生產將有不良的影響。惟其對產量的影響幅度較少，不似氮肥具有明顯的增產效應。此與前人研究之磷鉀肥對水稻產量之效應明顯低於氮肥之結果相符(Chu, 1961; Su, 1975; 王，2004; Wang, 2004)。

圖四顯示稻穀產量與幼穗形成期植株氮含量間呈極顯著正相關，高量氮肥用量處理(N210公斤/公頃)之產量顯著高於N130公斤/公頃之各處理，顯示氮肥的影響甚大，且明顯高於磷鉀肥的影響。植株幼穗形成期氮含量較往年的結果低，應為受水稻生長之多量乾物質稀釋所致，本年度其他水稻試驗亦有相同之結果(王，2004)，亦即本期作水稻生育期間較佳的氣候環境有利於水稻的生長與乾物生產，因產能提高，對營養元素的需求也增加，故較現行氮肥推薦量增加用量，仍明顯有增產效果。



圖四、水稻幼穗形成期植株氮含量與稻穀產量之相關(2003，第一期作)
Fig. 4. Relationship between grain yield and N content of rice plant at panicle initiation stage (2003 1st crop).

結論

應用現行水田土壤磷鉀肥力診斷基準，推薦磷鉀肥用量之各處理間植株乾物重、產量及磷鉀吸收量均無顯著差異，顯示該基準具實用性。而本試驗水稻生育期間之氣候條件有利於水稻生長及乾物生產，因生長量增加故對營養元素的需求也增加，故多施氮肥具明顯增產效果。

誌謝

本研究承行政院農委會補助經費(計畫編號91農科-5.1.3-農-C2(4))始得完成，特此致謝。

參考文獻

王銀波。1985。植物營養學。國立中興大學出版。pp. 23-25。

王鐘和、林毓雯、黃維廷、江志峰。2002a。水稻合理施肥技術。作物合理化施肥技術研討會專刊。中華永續農業協會、農業試驗所編印。pp. 11-24。

王鐘和、艾慶平、丘麗蓉、林毓雯、鍾仁賜。2002b。施用不同有機資材對玉米、水稻輪作物生產之影響。農業土壤生態品質及生產力研討會【水旱田輪作系統及有機質應用對土壤品質及生產力之影響】論文集。中興大學土壤環境科學系、中華土壤肥料學會編印。pp. 181-218。

王鐘和。2004。肥料深施及穗肥對水稻產量之效應及診斷研究。台灣農業化學與食品科學。42(5): 383-395。

朱鈞。1975。穀類作物高產量之生理與形態之特性。科學農業，23: 104-107。

作物施肥手冊。1986。行政院農業發展委員會、台灣省政府農林廳編印。

連 深。1982。水稻之植物營養研究發展。台灣省土壤肥料學會三十周年紀念特刊。pp. 45-47。

連深。1986。參、水稻，10-31頁，行政院農業委員會農業試驗所，作物施肥手冊，第二版。霧峰，臺中。

張正賢、曾美倉。1982。水稻產量構成因素及其影響因子。科學農業，30: 318-322。

張萬來、楊遜謙。1965。生育環境對稻穀產量及構成因素之效果。農業研究，14(2): 23-31。

盛澄淵、蘇楠榮、林銅鐘、馮明彬。1964。桃園紅壤磷鉀含量與水稻營養及肥料效應之關係。中華農學會報，新 48: 18-34。

黃脩惠。2001。不同氮肥對水稻-玉米耕作體系中生長與養分吸收的影響。國立台灣大學農業化學研究所碩士論文。台北，台灣。

黃真生。1978。I.2 臺灣水稻第二期作低產之原因，29-36頁，謝順景、劉大江主編，臺灣二期作稻低產原因及解決方法研討會專集，行政院國家科學委員會。台北，台灣。

Blackmore, B. S., P. N. Wheeler, J. Moris, R. M. Moris and R. J. A. Jones. 1995. The role of precision farming in sustainable agriculture: A European perspective. p.777-793. In: "Site-Specific Management for Agricultural Systems". Robert, P. C., R. H. Rust and W. E. Larson (eds.). ASA, CSSA, SSSA.

Broadbent, F. E., and D. S. Mikkelsen. 1968. Influence of placement on uptake of tagged nitrogen by rice. Agron. J. 60: 674-677.

Chu, H. F. 1961. Economic appraisal of fertilizer application on rice. *In soil and Fertilizer uses in Taiwan ROC*. Plant Industry Series No. pp. 133-143.

Dofing, S. M., and C. W. Knight. 1994. Yield component compensation in uniculm barley lines. Agron. J. 86: 273-276.

Mengel, K. and E. A.Kirkby. 1982. Principles of Plant Nutrition. pp. 437-540. published by International Potassh Institute P. O. Box, CH-3048 Wordlaufen-Berny Switzerland.

Pieerce, F. J. and E. J. Sadler (eds.). 1997. "The state of Site Specific Management for Agriculture". ASA, CSSA, SSSA.

Su, N. R. 1972. The fertility status of Taiwan soils. In "Soil of the ASPAC Region". ASPAC FFTC Tech. Bull. No.8.

Su, N. R. 1975. Fertilizers applications to rice in Taiwan, ASPAC FFTC Extension Bull. No. 60.

Wang, C. H. 2004. Soil fertility management of sustainable agricultural in Taiwan. In the proceeding of the 3rd APEC Workshop on Sustainable Agricultural Development. p. 245-263.